

Jorma Vänntilä

ALIPAINKAAPIN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

ALIPAINENKAAPIN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Jorma Väänttilä
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikka

Tekijä: Jorma Vänntilä

Opinnäytetyön nimi: Alipainekaapin suunnittelu ja toteutus

Työn ohjaaja: Heikki Kurki (OAMK), Arto Vänntilä (Lujatalo Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2015 Sivumäärä: 48 + 2 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa automatisoitu alipainekaappi rakennuskoneiden puhdistusta varten. Tavoitteena oli saada kaapista mahdollisimman helppokäyttöinen ja turvallinen. Työ tehtiin Lujatalo Oy:n Oulun kalustokeskukselle.

Työssä suunniteltiin ja valmistettiin koko kaappi alusta loppuun. Alussa kartoitettiin kaapin kokoa puhdistettavien koneiden mukaan, jonka jälkeen suunniteltiin kaapin toiminnat. Instrumenttivalinnat tehtiin suunniteltujen toimintojen perusteella, joista saatiin tarvittava informaatio kuvien piirtämiseen. Lopuksi suunniteltiin logiikkaohjelma suorittamaan koneen haluttuja toimintoja.

Tuloksena saatiin suunniteltua ja valmistettua alipainekaappi, joka lisää merkittävästi työntekijän työturvallisuutta ja hyvinvointia.

Asiasanat: automaatio, vetokaappi, instrumentointi, Siemens, työturvallisuus

ALKULAUSE

Tämän työn tilaajana oli Lujatalo Oy:n Oulun Kalustokeskus. Lujatalolta opin-
näytetyötä ohjasi kalustovastaava Arto Vänntilä ja Oulun ammattikorkeakoulusta
ohjaavana opettajana toimi yliopettaja Heikki Kurki. Heidän lisäksi haluaisin kiit-
tää Lujatalon huoltomies Kimmo Sivulaa, joka auttoi minua paljon työn asen-
nuksissa ja ongelmatilanteissa, sekä Tuula Hopeavuorta kieliasun tarkistami-
sesta. Erityiskiitos kuuluu myös vaimolleni, joka kyyditsi minua joka päivä kodin
ja työpaikan välillä murrettuani jalkani juuri opinnäytetyön aikaan.

Oulussa 2.6.2015

Jorma Vänntilä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 PUHDAS SISÄILMA	9
2.1 Työympäristön pölyt	9
2.2 Kohdeilmanvaihto	10
2.3 Kotelot ja vetokaapit	11
3 TURVALLISUUSVAATIMUKSET	12
3.1 Konedirektiivi	12
3.2 Terveys- ja turvallisuusvaatimukset	12
3.3 Ohjausjärjestelmää koskevat vaatimukset	13
4 RUNGON SUUNNITTELU	14
4.1 Kehikko	14
4.2 Taitto-ovi	15
5 INSTRUMENTOINTI	16
5.1 Puhaltimen mitoitus	16
5.2 Pneumatiikka	20
5.2.1 Sylinterien mitoitus ja valinta	20
5.2.2 Suuntaventtiilit	22
5.2.3 Kompressori	24
5.3 Anturit	24
5.3.1 Magneettinen sylinterianturi	25
5.3.2 Alipaineanturi	25
5.3.3 Kapasitiivinen anturi	26
5.3.4 Pölyanturi	27
5.4 Suodattimen puhdistus	28
5.5 Valaistus	28
5.6 Turvalaitteet	28
5.6.1 Turvarele	29

5.6.2 Hätäpysäytin	29
5.6.3 Mekaaninen rajakatkaisin	29
5.6.4 Valoverho	30
5.6.5 Varoituslaitteet	31
5.6.6 Syötönerotuskytkin	31
6 AUTOMAATIO	32
6.1 Toiminnan suunnittelu	32
6.2 Sähkö- ja automaatiosuunnittelu	33
6.3 Ohjelmoitava logiikka	33
6.3.1 Logiikan valinta	34
6.3.2 HMI-paneeli	34
6.4 Logiikan ohjelmointi	35
6.4.1 TIA Portal	36
6.4.2 Logiikkaohjelman tekeminen	37
6.4.3 HMI-paneelin konfigurointi	40
7 KÄYTTÖÖNOTTO	42
8 YHTEENVETO	46
LÄHTEET	47
LIITTEET	
Liite 1. I/O-luettelo	
Liite 2. Osaluettelo	

SANASTO

CPU	Central Processing Unit, keskusyksikkö.
FBD	Function Block Diagram, logiikan ohjelmointikieli.
FC	Function. Ohjelmalohko.
HMI	Human Machine Interface, käyttäjäliityntä.
I/O	Input/Output.
IP	Internet Protocol. IP-osoite, joka yksilöi jokaisen verkkoon kytketyn laitteen
ISO	International Organization for Standardization, Kansainvälinen standardoimisjärjestö.
LAD	Ladder Diagram, logiikan ohjelmointikieli.
OB	Organization Block.
PLC	Programmable Logic Controller, Ohjelmoitava logiikka.
Profinet	Teollisuus-Ethernet-standardi reaaliaikaiselle tiedonsiirrolle automaatiojärjestelmissä.
STL	Statement List, logiikan ohjelmointikieli.
tag	Toiminnon nimeäminen osoitteelle.
TIA Portal	Totally Integrated Automation Portal, Logiikan ohjelmointisovellus.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on suunnitella ja valmistaa Oulussa sijaitsevaan Lujatalo Oy:n kalustokeskukseen alipaineikaappi, jossa voidaan puhdistaa rakennuskoneita altistumatta pölylle. Lujatalo Oy on Suomen yksi suurimmista rakennusliikkeistä. Työn tilaajana on Lujatalon Oulun kalustokeskuksen kalustovastaava Arto Vänntilä. Kalustokeskus toimii pääasiassa Lujatalon sisäisenä vuokraamona.

Tarve laitteelle on muodostunut, kun pölyiset rakennuskoneet palaavat työmailta takaisin. Koneet tarkistetaan, huolletaan ja puhdistetaan ennen, kuin ne palaavat taas vuokralle. Puhdistus vaatii paineilmaa, ja toistaiseksi puhdistustyö on jouduttu tekemään ulkona, ettei pöly leviä sisätiloihin. Työ pitäisi pystyä tekemään turvallisesti sisällä niin, ettei työntekijä altistu vaarallisille pölyille.

Tavoitteena on toteuttaa kaappi, joka on mahdollisimman helppokäyttöinen, automaattinen ja turvallinen. Lisäksi tutkitaan, mistä suunnasta lähtevä imu on tehokkainta pölyn poistamisen kannalta. Työhön sisältyy laitteen koko valmistuskaari suunnittelusta toteutukseen.

2 PUHDAS SISÄILMA

2.1 Työympäristön pölyt

Kaasun, työhygieniassa ilman, ja hiukkasten seosta kutsutaan aerosoliksi. Aerosoleja ovat ilmassa leijuvat pölyt, sumut, savut ja haurut. Puhekielessä pöly on saanutkin yleismerkityksen, koska raja näiden välillä ei ole selvä. Ajan oloon monet sumut, savut ja haurut muuttuvat työilmassa pölyiksi. (1.)

Työympäristössä käyttökelpoinen määritelmä pölylle on seuraava: Pölyt ovat kiinteitä hiukkasia, joiden koko vaihtelee alle 1 µm:stä vähintään 100 µm:iin. Niiden alkuperä, fysikaaliset ominaisuudet ja muut ympäristöehdot määrittävät pölyn pysymisen tai joutumisen ilmaan. (1.)

Työympäristössä työn tekijät altistuvat monenlaisille pölyille riippuen tietenkin työympäristön olosuhteista. Työympäristön tyypillisiä pölyjä ovat esimerkiksi mineraalipölyt, metallipölyt, kemikaalipölyt, orgaaniset ja kasviperäiset pölyt sekä home ja siitepöly. (2.)

Pölylle altistavia aloja ovat mm. rakennusala, kaivosala ja kemianteollisuus, mutta pölyä muodostuu myös tavallisissa toimistoissa ja muissa suhteellisen puhtaissa paikoissa. Työntekijän turvallisuuden ja viihtyvyyden parantamiseksi on suunniteltava järjestelmiä, jotka poistavat pölyongelmaa. (2.)

Kun ihminen altistuu pölylle, siitä saattaa aiheutua monenlaisia terveyshaittoja. Haitat voivat olla väliaikaisia, pysyviä tai ne voivat johtaa heti altistuttaessa ihmisen hengenvaaraan. Altistumisen voimakkuus riippuu pölyn pitoisuudesta, ominaisuuksista ja altistumisajasta. (2.)

Pölyn aiheuttamia sairauksia ovat mm.

- pölykeuhko
- syöpä
- myrkytys
- kovametallitauti
- ärsytys ja tulehdukselliset keuhkovauriot

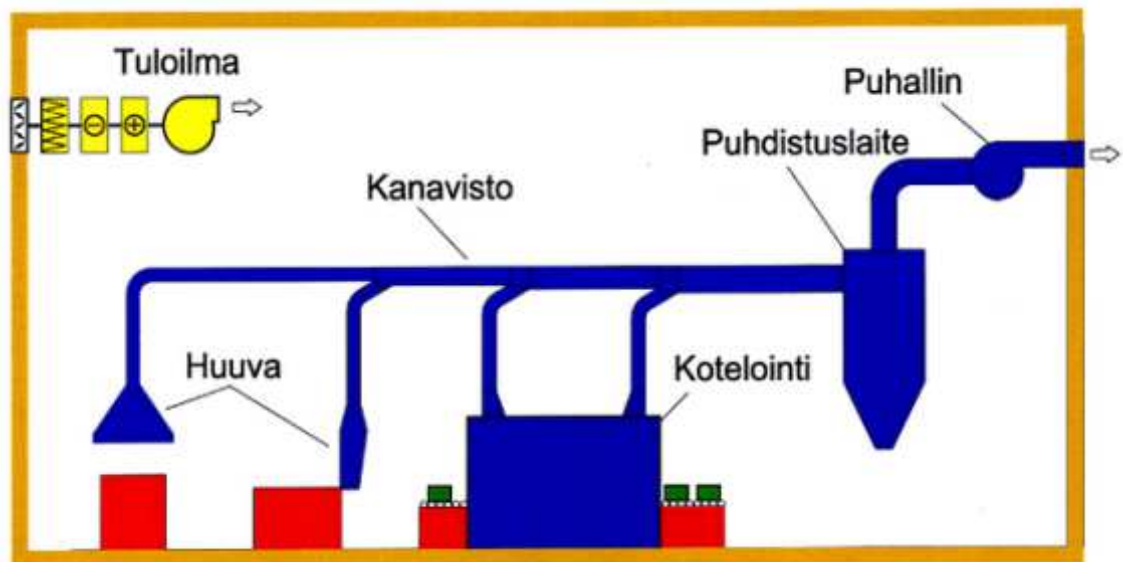
- allergiset vaikutukset
- infektiot. (2.)

2.2 Kohdeilmanvaihto

Työpaikkojen ilmanvaihto koostuu monesti yleis- ja kohdeilmanvaihdesta. Yleisilmanvaihto säätelee lähinnä ilman kosteutta ja lämpötilaa, mutta imee myös samalla epäpuhtauksia. Kohdeilmanvaihto tarkoittaa yleensä kohdepoistoa, jossa tarkoituksena on poistaa epäpuhtaudet työskentelyalueelta imuvirtauksella. Kohdeilmanvaihtoa on myös kohdepuhallus, jota käytetään lähinnä tuloilman säätelyyn kohdepoistossa. (3.)

Tyypillisesti kohdeilmanvaihdon (kuva 1) sisältyvät seuraavat osat:

- imuhuuva tai kotelointi
- kanavisto
- puhdistuslaite
- puhallin.



KUVA 1. Kohdepoistojärjestelmän periaate (3)

2.3 Kotelot ja vetokaapit

Teollisuudessa tarvitaan kokonaan koteloituja kohteita ja etenkin lääketeollisuudessa imulla varustettuja työskentelykaappeja eli vetokaappeja. Kotelointia tarvitaan yleensä, jos imettävä aine on myrkyllistä tai muuten haitallista työntekijälle eikä sen haluta leviävän muualle työkohteessa. Vetokaapissa on yleensä veto-ovi, joka on osittain auki työskenneltäessä. Tällöin korvausilma saadaan avonaisen oven kautta. Jos käsiteltävä aine on erittäin myrkyllistä tai olosuhteet muuten vaativat, valmistetaan ns. hanskakaappi. Hanskakaappiin on liitetty työskentelyhanskat, joilla voidaan työskennellä kaapin sisällä turvallisesti. Tällaisessa kaapissa korvausilman saanti toteutetaan erikseen.

3 TURVALLISUUSVAATIMUKSET

3.1 Konedirektiivi

Suomessa on voimassa koneturvallisuuslainsäädäntö, joka perustuu EY:n koneturvallisuusdirektiiviin (Konedirektiivi 2006/42/EY). Alkuperäinen konedirektiivi on julkaistu 1989 ja sitä on muutettu sen jälkeen viisi kertaa.

Lainsäädäntö koskee määritelmän mukaisia koneita ja koneyhdistelmiä. Koneella tarkoitetaan toisiinsa liitettyjen osien yhdistelmää,

- joista ainakin yksi osa liikkuu,
- jossa on tarvittavat hallintalaitteet,
- jotka on liitetty yhteen suorittamaan tiettyä toimintaa,
- joka on koneyhdistelmää,
- joka on toisen koneen toimintaa muuttava käyttäjän vaihdettavissa oleva laite. (4.)

3.2 Terveys- ja turvallisuusvaatimukset

Valtioneuvoston asetus koneturvallisuuden yleisperiaatteista toteaa näin: ”Koneen valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan on varmistettava, että tehdään riskin arviointi, jotta koneeseen sovellettavat terveys- ja turvallisuusvaatimukset voidaan määrittää. Kone on sen jälkeen suunniteltava ja rakennettava ottaen huomioon riskin arvioinnin tulokset.” (5.)

Koneen valmistajan täytyy riskin arvioinnissa määrittää koneen raja-arvot, jossa arvioidaan koneen tarkoitettu käyttö ja kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. Valmistajan täytyy tunnistaa koneen aiheuttamat vaarat, arvioitava riskin suuruus ja poistettava tai pienennettävä riskin suuruutta soveltamalla suojaustoimenpiteille annettuja määräyksiä. Koneen valmistajan on laadittava käyttöohjeet ja tehdä koneeseen tarvittavat merkinnät. (5.)

3.3 Ohjausjärjestelmää koskevat vaatimukset

Koneiden ohjausjärjestelmistä on tarkat määräykset direktiivissä. Koneen ohjausjärjestelmä on suunniteltava niin, että ne estävät vaaratilanteet ja mahdollinen ohjausjärjestelmän laitteisto tai ohjelmavika ei aiheuta vaaratilanteita. Kone ei saa myöskään käynnistyä odottamattomasti eikä siitä saa singota osia. (5.)

Ohjainlaitteet tulee sijoittaa sellaiseen paikkaan, josta niitä on turvallista käyttää ja ne on suunniteltava sellaisiksi, että liike vastaa vaikutusta. (5.)

Tässä opinnäytetyössä käytetyt turvakomponenttien esittelyt ja valinnat käsitellään luvussa 5.6.

4 RUNGON SUUNNITTELU

4.1 Kehikko

Rungon suunnittelu aloitettiin määrittämällä rakennuskoneiden koko, joita kaapissa on tarkoitus puhdistaa. Pääasiassa puhdistettavat koneet ovat kaapparisirkkeleitä, imurin suodattimia ja lämpöpuhaltimia, mutta tarvittaessa sinne mahtuu myös isompia koneita.

Koneen runkoa suunniteltaessa mietittiin kaapin pääasialliset toiminnot, jotta ne voitiin ottaa huomioon suunnittelussa. Koneetta suunniteltaessa on myös otettava huomioon koneturvallisuusstandardit ja ergonomiset näkökohdat. Käytännöllisyyden tavoittamiseksi haastateltiin koneen tulevia käyttäjiä ja kartoitettiin yhdessä tarpeellisia toimintoja (6).

Monien vaihtoehtojen joukosta päädyttiin tekemään runko 20 mm x 20 mm teräsputkipalkista. Kaapista tehtiin suorakulmaisen särmiön muotoinen, jonka pohjan mitat ovat 1 m (syvyys) ja 1,2 m (leveys). Kaapin korkeus on 2 metriä. Keskustelujen perusteella työskentelytason optimikorkeus on n. 85 cm:n korkeudella. Kehikon etureunaa kallistettiin 15° eteenpäin työtason yläpuolelta koneen kattoon asti, jotta kaapin sisälle näkeminen ja työskentely paranisivat. Imusuunnan tehokkuutta testattiin kokeilemalla ja todettiin, että veto toimii parhaiten alaspäin. Runkoon teetettiin peltisepällä kaukalo, johon tehtiin imuaukko. Imuaukosta pöly johdetaan rakennettua kanavistoa pitkin sähkölaitekorjaamon katolle, jonne imuri asennetaan. Kaukalon alapuolelle tehtiin tila sähkökeskuk- selle ja muille komponenteille.

Rungon seinät tehtiin sinkitystä peltilevystä ja läpinäkyvät osat kirkkaasta polykarbonaattilevystä. Jokainen saumakohta tiivistettiin, jotta ilma ei vuoda niistä. Rungon suunnittelun viimeisessä vaiheessa valmistettiin apupöytä kaapin sivulle, josta rakennuskoneet liukuvat kiskoilla kulkevan ritilän päältä sisälle kaappiin.

4.2 Taitto-ovi

Alkuperäisessä suunnitelmassa oven oli tarkoitus tulla etupuolelle, mutta ajatuksesta luovuttiin käyttäjän turvallisuuden parantamiseksi. Ovi muutettiin sivulle, jonne edellä mainittu apupöytäkin asennettiin. Sivupöydällä olevat liukukiskot estävät oven aukeamisen normaaliin tapaan sivulle, joten ovi täytyi suunnitella ylöspäin aukeavaksi. Päädyttiin tekemään kahteen osaan taittuva ovi, jotta aukeamiseen tarvittava tila olisi pienempi. Oven kehikko valmistettiin samasta teräspalkista kuin kaapin runko. Kaksi kehikkoa yhdistettiin saranoilla ja peitteeksi laitettiin polykarbonaattilevyä. Oven pielet ja välit tiivistettiin ovitiivisteillä. Ovesta tuli hyvin toimiva kompakti kokonaisuus. (Kuva 2.)



KUVA 2. Koneen perusrunko

5 INSTRUMENTOINTI

Tässä luvussa käydään läpi projektin tuotteiden valintaperusteita ja asennusta. Ensiksi asennettiin sähkönsyöttökaapelit puhaltimelle ja kaapille. Puhaltimen syöttökaapeli vedettiin 3-vaiheisena, jotta se on valmiina mahdollista myöhemmä laajennusta varten. Ohjausjärjestelmän kaapeloinnissa käytettiin Nomak 4x2x0,5+0,5 -automaatiokaapelia.

5.1 Puhaltimen mitoitus

Kohdeilmanvaihdossa puhaltimen mitoitus tehdään sen mukaan onko kohde koteloitu vai koteloimaton. Mitoituksessa selvitetään tarvittavan ilmavirran nopeus, kanavan halkaisija ja painehäviö. Näiden perusteella valitaan sopiva puhallin (7).

Koteloidun kohdepoistolaitteen ilmavirran nopeus saadaan kaavalla 1.

$$q_v = vA \quad \text{KAAVA 1}$$

q_v = ilmavirta (m^3/s)

v = otsapintanopeus (m/s)

A = korvausilma-aukkojen pinta-ala, $0,18 \text{ m}^2$

Otsapintanopeus valitaan $0,4\text{--}1 \text{ m/s}$ väliltä. Nopeus riippuu mm. poistettavan aineen myrkyllisyydestä. Yleisin käytetty nopeus on $0,5 \text{ m/s}$. Tähän mitoitukseseen valittiin otsapintanopeudeksi $0,7 \text{ m/s}$, koska kaapin sisällä on osia, jotka estävät ilman vapaata virtausta. Kaappiin on tehtävä riittävän isot korvausilma-aukot etteivät kaapin seinät vetäydy sisään. Tässä laskelmassa aukot arvioitiin ja ilmavirraksi saatiin $0,126 \text{ m}^3/\text{s}$.

Poistokanavan halkaisijaan voidaan käyttää kaavaa 2 (7).

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot q_v}{\pi \cdot v}} \quad \text{KAAVA 2}$$

d = kanavan halkaisija (m)

q_v = ilmavirta (m^3/s)

v = pölyn kuljetusnopeus (m/s)

Pölyn kuljetusnopeus valitaan pölyn ominaisuuksien mukaan (taulukko 1). Tähän laskelmaan päädyttiin valitsemaan 20 m/s, koska rakennustyömailta tulee koneisiin monia erilaatuisia pölyjä. Kanavan halkaisijaksi saatiin näillä tiedoilla 0,09 m. Kanavaksi valittiin 100 mm:n ilmastointiputki.

TAULUKKO 1. Kuljetusnopeus pölytyypin mukaan (8)

Pölytyyppi	Kuljetusnopeus (m/s)
Kevyeheköt pölyt (esim. kuiva puupöly, muovipöly)	15
Tavallinen teollisuuspöly (hiontapöly, karkea kumi- pöly)	20
Raskas pöly (lyijypöly, kostea pöly)	25

Viimeisenä määritellään poistokanavan painehäviö. Kokonaispainehäviö koostuu kanaviston kitkahäviöstä ja kertavastuksesta.

Kanaviston kitkahäviötä varten täytyy määrittää kitkakerroin, joka lasketaan kaavan 3 mukaan (7).

$$\lambda = \frac{1}{1,14 - 2 \log \frac{k}{d_{mm}}}$$

KAAVA 3

λ = kitkakerroin

k = kanavan pinnankarheus

d_{mm} = kanavan halkaisija (mm)

Uuden saumatun peltikanavan pinnankarheutena on käytetty 0,15. Kitkakertoimeksi saatiin 0,21. Painehäviön laskentaan tarvittava kitkahäviö saadaan laskettua kaavalla 4 (7).

$$\Delta p_{kit} = \frac{\lambda \rho_i v^2 L_{kok}}{2d}$$

KAAVA 4

Δp_{kit} = kitkapainehäviö (Pa)

λ = kitkakerroin

ρ_i = ilman tiheys (kg/m³)

v = kuljetusnopeus (m/s)

L_{kok} = kanavan pituus (m)

d = kanavan halkaisija (m)

Ilman tiheytenä käytettiin arvoa 1,29 kg/m³ ja kanavan kokonaispituus oli 4,5 m. Muissa käytettiin aiemmin ilmoitettuja arvoja. Kitkapaine häviöksi saatiin 2420 Pa. Kertavastuspainehäviön laskentaan on olemassa taulukoita, mutta tähän laskentaan käytettiin kaavaa 5 (7).

$$\Delta p_{ker} = \frac{\Sigma f_t n \rho_i v^2}{2}$$

KAAVA 5

Δp_{ker} = kertavastuspainehäviö (Pa)

Σf_t = kertavastuskertoimien summa

n = kohdepoistolaitteiden lukumäärä (kpl)

ρ_i = ilman tiheys (kg/m³)

v = kuljetusnopeus (m/s)

Kertavastuskertomien summana käytettiin putkiston eri osien lukumäärää. Niitä oli yhteensä 5. Kohdepoistolaitteita on 1 ja muut arvot on ilmoitettu aiemmin. Kertavastuspainehäviöksi saatiin 1290 Pa. Kokonaispainehäviö saadaan kaavalla 6 (7).

$$\Delta p_{kok} = \Delta p_{kit} + \Delta p_{ker}$$

KAAVA 6

Δp_{kok} = kokonaispainehäviö (Pa)

Δp_{kit} = kitkapainehäviö (Pa)

Δp_{ker} = kertavastuspainehäviö (Pa)

Kokonaispainehäviöksi saatiin 3715 Pa. Näillä saaduilla tiedoilla määriteltiin puhaltimen sähkömoottorin teho, joka saadaan kaavalla 7 (9).

$$P = \frac{Q \Delta p}{\eta}$$

KAAVA 7

P = puhaltimen teho (W)

Q = puhaltimen tuotto (m^3/s)

Δp = puhaltimen paine-ero (Pa)

η = puhaltimen hyötysuhde

Puhaltimen tuottona käytettiin aiemmin saatua arvoa $0,126 \text{ m}^3/\text{s}$. Paine-erona on painehäviö ja hyötysuhteeksi on arvioitu 0,8. Näillä tiedoilla saatiin puhaltimen sähkötehoksi 585,1 W.

Laskelmilla saatuihin tietoihin lisättiin toleranssia ylöspäin ja valittiin sen mukaan sopiva puhallin (kuva 3). Todellinen puhallin tilattiin hieman isommalla teholla (1,1 kW) ja isommalla ilmavirtausmäärällä mahdollisten myöhempien laajennusten vuoksi. Puhaltimen imutehoa voidaan säätää tarpeen mukaan. Puhallin on varustettu moottorinsuojakytkimellä.



KUVA 3. Imuyksikkö

5.2 Pneumatiikka

Koneen toiminnoista ritilän liikuttaminen ja oven toiminta toteutettiin pneumaattisilla sylintereillä. Ritilän liikuttamiseen oli vaihtoehtona myös sähkömoottori, mutta sylinteriin päädyttiin kaapissa vallitsevan pölyisyyden vuoksi.

5.2.1 Sylinterien mitoitus ja valinta

Sylinterit ovat monikäyttöisiä komponentteja, joita voidaan hyödyntää sähköohjatuissa ja pneumaattisissa järjestelmissä. Sylintereitä on monen tyyppisiä, kuten vakiosylinterit, männänvarrettomat sylinterit, pyörimättömällä varrella varustetut sylinterit, lyhytiskusylinterit ja lukkolaite-sylinterit. Ne valmistetaan standardimitoitettuna erilaisiin tarkoituksiin. Kalvosylinterit ja rullakalvosylinterit sopivat kohteisiin, joissa tarvitaan suurta voimaa. Kääntyvä liike saadaan aikaan vääntösylinterillä, joka valitaan sopivan kääntökulman perusteella. (10.)

Sylintereitä on yksitoimisia ja kaksitoimisia. Yksitoimisessa sylinterissä mäntää liikutetaan paineilmalla vain toiseen suuntaan. Palautusliike tehdään jousivoimalla, kuorman omalla painolla tai normaalipainetta pienemmällä syöttöpaineella. Kaksitoimisessa sylinterissä mäntää voidaan liikuttaa paineilman avulla molempiin suuntiin. Kaksitoimiset sylinterit ovat yleisemmin käytettyjä kuin yksitoimiset. Kaappiin valittiin sylinterit tarvittavan iskupituuden ja riittävän työntövoiman perusteella. Molemmat sylinterit ovat varustettu päätyvaimennuksilla.

Ovisylinterin mitoitus

Mitoitettaessa sylinteriä on otettava huomioon kitkoista ja kiihtyvyydestä aiheutuva voima. Sylinterin kitkoista aiheutuva voima $\mu = 0,1 - 0,15$. Vinoon tai pystysuoraan asennetuissa sylintereissä tulee ottaa huomioon maan vetovoiman aiheuttama lisäkuorma. Oven sylinterin tarvittava voima saadaan laskettua kaavalla 8. (11.)

Manuaalissa ilmoitettiin, että halkaisijaltaan 32 mm sylinterin työntövoima on 0,7 MPa:n paineella 563 N. Voima on laskettu kertomalla männän pinta-ala käyttöpaineella. (12.)

$$F = \frac{(mg \cdot \sin(\alpha) + ma)}{(1 - \mu)}$$

KAAVA 8

F = Voima (N)

m = kuorman massa (kg)

g = maan vetovoiman kiihtyvyys (9,81 m/s²)

α = kaltevuuskulma (°)

a = kuorman kiihtyvyys (m/s²)

μ = kitkakerroin (0,12)

Laskussa tarvitaan kiihtyvyyttä a , joka saadaan kaavan 9 avulla. Sylinterin kiihtyvyyssmatka on 10–30 % koko iskupituudesta.

$$a = \frac{v^2}{2s}$$

KAAVA 9

a = kiihtyvyys (m/s²)

v = nopeus (m/s)

s = kiihtyvyyssmatka (m)

Nopeudeksi valittiin 0,15 m/s ja kiihtyvyydeksi 10 % iskupituudesta 600 mm eli 0,06 m. Valituilla arvoilla kiihtyvyydeksi saatiin 0,19 m/s². Tämän jälkeen saatiin laskettua tarvittava voima kaavalla 8. Oven painoksi arvioitiin 15 kg ja sylinterin kaltevuuskulmaksi 60°. Näillä arvoilla sylinterin tarvittavaksi työntövoimaksi saatiin 407 N.

Kaapin taitto-oven avaamiseen valittiin kaksitoiminen SMC ISO-sylinteri, jonka iskupituus on 600 mm ja männän halkaisija 32 mm (kuva 4).



KUVA 4. Ovisylinteri

Ritiläsylinterin mitoitus

Ritilän sylinteri kulkee vaakasuorassa, joten maan vetovoimasta aiheutuvaa lisäkuormaa ei tarvitse ottaa huomioon. Määrittämiseen käytetään kaavaa 8, mutta ilman kaltevuuskulman sin-funktiota. Nopeudeksi valittiin 0,2 m/s ja kiihtyvyydeksi $0,08 \text{ m/s}^2$, joka on 10 % 800 mm:n iskupituudesta. Ritilän ja painavimman puhdistettavan koneen yhteispainoksi arvioitiin 40 kg. Ritiläsylinterin kiihtyvyydeksi saatiin $0,25 \text{ m/s}^2$ ja tarvittavaksi voimaksi 457 N.

Ritilän sylinteriksi valittiin kaksitoiminen SMC ISO -sylinteri, jonka iskupituus on 800 mm ja männän halkaisija 32 mm. Iskupituus on riittävän pitkä, jotta ritilä tulee riittävästi kaapista ulos.

5.2.2 Suuntaventtiilit

Sylinterin suunnan ohjaukseen käytetään suuntaventtiileitä, joita voidaan ohjata mm. sähköisillä magneettikeloilla tai pneumaattisesti. Suuntaventtiilejä on toiminnaltaan useita erilaisia. Suuntaventtiilityyppi ilmoitetaan sen kytkentävaihtoehtojen sekä liitäntäaukkojen mukaan. 5/3-venttiilissä liitäntäaukkoja on viisi ja luistin asentovaihtoehtoja kolme. Tässä työssä käytettiin 5/3-sähkömagneettiventtiilejä, joissa on viisi liitäntäaukkoa ja kolme luistin asentoa (kuva 5). 5/3-suuntaventtiilillä voidaan tehdä plusliikkeen ja miinusliikkeen lisäksi pysäytys-

toiminto. Pysäytystoimintoa tarvitaan, jotta sylinterin liike voidaan tarvittaessa pysäyttää esimerkiksi vikatilanteessa. (10.)



KUVA 5. 5/3-suuntaventtiili

Työssä käytettävät magneettiventtiilit asennettiin yksittäissyöttölohkoihin. Magneettiventtiileille rakennettiin teline, johon ne kiinnitettiin. Telineeseen tuli kompressorilta suora paineensyöttö, josta se haaroitettiin kahteen paikkaan. Puhallukseen tarkoitettu paine ohjattiin suoraan 2/2-magneettiventtiilin läpi kaapin puhalluspistoolille. Magneettiventtiiliä käytettiin, jotta puhallusmahdollisuutta voidaan ohjata. Toinen haara kulkee paineenalennusventtiilin läpi, koska suuntaventtiilien käyttöpaine on puhalluspainetta alhaisempi. Paineenalennusventtiilin jälkeen paine ohjattiin jakotukille, josta jaettiin syöttöpaine molemmille 5/3-suuntaventtiileille. Telineeseen kiinnitettiin vielä jakorasia, jossa tehtiin tarvittavat sähköliitännät (kuva 6).



KUVA 6. Pneumatiikkateline

5.2.3 Kompressori

Paineilman tuottamista varten tarvitaan kompressori. Kompressoriksi kutsutaan laitetta, jolla voidaan nostaa kaasun painetta vähintään kaksi kertaa imupaineeseen verrattuna. (11.)

Kaapissa tarvitaan painetta pneumatiikkalaitteille ja puhallukseen. Työhön saatiin Lujatalon rakennuskonevuokrakoneista poistettu toimiva kompressori, johon asennettiin lisäsäiliö paineilman riittävyyden varmistamiseksi. Kompressorilta haaroitettiin syöttöpaineet kaapille ja imurin suodattimen puhdistimelle.

5.3 Anturit

Anturit ovat laitteita, jotka keräävät tietoa laitteiden tilasta ja toiminnasta. Anturin mittauselin määrittää suuren arvon ja anturiosa muuttaa sen halutun muotoiseksi viestiksi.

5.3.1 Magneettinen sylinterianturi

Sylintereiden asennon tunnistukseen on kehitetty erilaisia tekniikoita. Sylinterin kyljessä oleviin uriin voidaan kiinnittää reed-rele eli kytkin, joka reagoi mäntään kiinnitetyn kestopagneetin liikkeisiin. Reed-kytkimet ovat yleensä sulkeutuvalla koskettimella varustettuja. Reed-kytkimiä ei voida mekaanisen hitautensa vuoksi käyttää silloin, jos liike on liian nopeaa. Nopeaan tunnistamiseen käytetään Hall-antureita, jotka voidaan asentaa samalla tavalla kuin reed-kytkimet. Myös erityyppisiä lähestymiskytkimiä sekä rajakytkimiä voidaan käyttää sylinterin tunnistukseen. (10, s. 73–74.)

Tässä työssä sylinterin eri asentojen tunnistukseen käytettiin Sick AG:n valmistamia, sulkeutuvalla koskettimella varustettuja magneettisia sylinteriantureita (kuva 7). Tällä anturilla saatiin määritettyä etenkin oven yläpään tunnistus tarkasti. Sylinterianturi kiinnitettiin sylinterin kyljessä olevaan uraan kääntämällä anturissa olevaa ruuvia, jolloin se lukittui uraan. Anturit säädettiin oikealle kohdalle kokeilemalla.



KUVA 7. Magneettinen sylinterianturi

5.3.2 Alipaineanturi

Maan pinnalla vallitseva ilmanpaine on 1013 hPa. Jokapäiväisessä elämässä hyödynnetään painetta erittäin paljon. Paineesta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä yli- tai alipainetta. Ylipaineella tarkoitetaan normaali ilmanpainetta kor-

keampaa painetta ja alipaineella vastaavasti normaali ilmanpainetta alhaisempaa painetta. (13.)

Pölyn poistamiseksi rakennuskoneiden puhdistuskaappiin muodostettiin alipaine poistopuhaltimen tuottamalla imulla. Kaapin paineen seuraamiseen valittiin SMC:n alipaineanturi, joka kykenee mittaamaan painetta -101–101 kPa:n alueelta. Anturi kiinnitettiin kaapin kattoon polykarbonaattiin tehtyyn kierteelliseen reikään (kuva 8).



KUVA 8. Alipaineanturi kiinnitettynä kaapin kattoon

5.3.3 Kapasitiivinen anturi

Kapasitiivinen anturi pystyy tunnistamaan lähes kaikkia materiaaleja. Sen toiminta perustuu muuttuvaan sähkökenttään. Sähkökenttä muuttuu tunnistettavan materiaalin dielektrisyiden mukaan. Kappale on tuotava sitä lähemmäksi anturia mitä pienempi dielektrisyysvakio sillä on. (10, s.194.)

Tässä työssä käytettiin kapasitiivista anturia imupuhaltimen pölysäiliön ylärajan hälytykseen (kuva 9). Valinta perustui siihen, että se tunnistaa eri materiaaleja. Anturi pyrittiin sijoittamaan siten, että se ei anna virheellistä hälytystä pölyn liikkeistä säiliössä. Sijoittamisen lisäksi asia otettiin huomioon ohjelmassa, jossa anturin pitää tunnistaa materiaali 15 s ajan, jotta hälytys tulee. Tässä vaiheessa anturia on testattu vain kokeellisesti, joten sen todellinen toimivuus selviää vas-

ta myöhemmin, kun konetta on käytetty enemmän. Vaihtoehto kapasitiiviselle anturille tässä tapauksessa voisi olla myös valokenno.



KUVA 9. Pölysäiliön pinta-anturi.

5.3.4 Pölyanturi

Kaapissa leijuvan pölymäärän mittaamiseen etsittiin anturia, jolla voisi seurata ilman kaappia tehtävän puhalluksen aiheuttamaa pölyisyyden määrää. Tietoa voitaisiin välittää yrityksen työterveyshuollon käyttöön. Markkinoilta niitä oli erittäin vähän, mutta muutama sopiva vaihtoehto löytyi (kuva 10). Mittaus voitaisiin tehdä kaapin sisältä tai poistoputkistosta. Anturi mittaa pölyn määrää mg/m^3 . Anturin erikoisuuden vuoksi kustannukset olisivat nousseet liikaa, joten se päätettiin jättää pois tässä vaiheessa. Sille jätettiin kuitenkin varaus myöhempää asennusta varten.



KUVA 10. Sintrolin valmistama pölyanturi (14)

5.4 Suodattimen puhdistus

Imupuhaltimen suodatin on puhdistettava välillä, jotta imutehokkuus säilyisi hyvänä ja puhallin hyvässä kunnossa mahdollisimman pitkään. Suodattimen puhdistus on valmiiksi toteutettu tilattuun puhaltimeen. Suodattimen puhtaalle puolelle oli johdettu paineilmaputki, jossa oli tasaisesti pieniä reikiä. Kun putkeen päästetään paineilmaa, rei'istä tuleva ilmavirta puhalttaa paineella suodattimen sisäpintaan ja irrottaa suodattimeen tarttuneen pölyn säiliön puolelta. Suodattimen sisälle menevää paineilmaa säädellään magneettiventtiilillä logiikan ohjausten mukaisesti.

5.5 Valaistus

Kaapin käyttövaloiksi valittiin leikattava ledinauha, joka asennettiin neljänä eri kappaleena kaapin kattoon. Lisäksi yksi kappale kiinnitettiin ritiläkiskon sivulle valaisemaan kaapin alaosa. Valot asennettiin niille tarkoitettuihin kouruihin siten, että ne eivät häikäise työntekijän silmiä. Ne arvioitiin silmämääräisesti riittäväksi huonetilan kattovalaistuksen lisäksi.

5.6 Turvalaitteet

Konedirektiivissä on tarkasti määritelty koneen käynnistämiseen, pysäyttämiseen ja hätäpysäytykseen liittyvät määräykset. Tässä kappaleessa esitellään turvalaitteita, jotka ovat myös kaapissa.

5.6.1 Turvarele

Turvareleet ovat laitteita, joiden tarkoitus on lisätä koneturvallisuutta. Turvareleeseen voidaan kytkeä yksi- tai kaksikanavaisia hätäkatkaisupiiriin kuuluvia turvalaitteita. Kun jokin turvalaite laukeaa, turvarele pysäyttää laitteen eikä anna koneelle käynnistyslupaa ennen kuittausta. Turvareleella voidaan estää henkilö- ja materiaalivahinkoja. (10, s. 54.)

Kaappiin valittiin Omronin turvarele, joka katkaisee ohjausjännitteet, jos hätäseis-kytkin tai oven turvarajakytkin laukeaa (kuva 11). Turvarele on varustettu automaattisella kuittaustoiminnolla, mutta koneeseen asennettiin vielä hätäseis-toiminnon kuittauspainike logiikan ohjauksien turvallista uudelleenkäynnistystä varten.



KUVA 11. Omronin turvarele (15)

5.6.2 Hätäpysäytin

Hätäpysäytin ei ole varsinaisesti turvalaite, vaan se on tarkoitettu lisävarmistukseksi sellaisia tilanteita varten, kun normaali pysäytys ei toimi. Hätäseis-kytkin täytyy sijoittaa sellaiseen paikkaan, että se on helposti ja nopeasti käytettävissä. Isoon laitteeseen hätäpysäyttäimiä täytyy olla useita paikoissa, josta laitetta voidaan operoida. (10, s. 26–27.)

Alipainekaappiin asennettiin Schneider Electricin valmistama hätäseis-kytkin. Se asennettiin ohjauspaneelin läheisyyteen, jossa se on hyvin esillä.

5.6.3 Mekaaninen rajakatkaisin

Mekaanisia rajakatkaisimia käytetään tilanteissa, joissa liikkuva kohde saattaa vian vuoksi jatkaa matkaansa tarkoitetun kohdan ohi aiheuttaen vaaratilanteita.

Tällöin rajakatkaisin sammuttaa koneen ennen kuin tulee vahinkoja. Kaapissa rajakatkaisinta käytettiin ovisylinterin yläasennossa varmistuksena suojaamaan sylinteriä, jos sylinterianturi ei jostakin syystä tunnista väliasentoa ja sylinteri jatkaa ohi tarkoitetun pysähdysasennon (kuva 12). Rajakatkaisin kytkettiin hätäkatkaisupiiriin yhdessä hätäseis-kytkimen kanssa.



KUVA 12. Oven rajakatkaisin

5.6.4 Valoverho

Valoverhot ovat optisia lähestymiskytkimiä, joita käytetään mm. ovien tai kulkuaukkojen turvallisuusvalvontaan. Niiden toiminta perustuu moduloituun infrapuna-valoon, joka säteilee edessä olevaan kappaleeseen tai heijastimeen. Heijastunut valo kulkee takaisin vastaanottoimeen, joka mittaa sen elektronisesti ja muuttaa kytkentätilaa. Monissa malleissa on valittavana valoisa tai pimeä toiminta, joista valoisa aktivoituu heijastuksesta eli se vastaa sulkeutuvaa kosketinta. Pimeä toiminto katkaisee kytkennän heijastuksesta eli se vastaa avautuvaa kosketinta. (10, s. 197.)

Kaapissa valoverhoa käytettiin vaara-alueen valvontaan, kun jokin koneen liikuvista osista liikkuu. Vaara-alue koneessa on rakennuskoneiden lastauspöydän alue, jossa liikkuu aukeava ovi ja koneita kiskoilla liikuttava ritilä. Valoverho sijoitettiin kattoon, koska sen valvonta-alue saatiin siten isommaksi. Alueen turvallisuusriski arvioitiin sen verran pieneksi, että valoverho todettiin riittäväksi suojaksi turva-alueen merkitsemisen ja vilkkuvalon lisäksi. (16.)

5.6.5 Varoituslaitteet

Liikkuvien osien liikkeistä tulisi varoittaa ääni- ja valosignaaleilla niin ettei se aiheuta aisteille kuitenkaan ylikuormitusta. Tähän koneeseen laitettiin vilkkuvalo varoittamaan osien liikkeistä ja todettiin sen olevan riittävä suoja turva-alueen merkitsemisen ja valoverho valvonnan lisäksi.

5.6.6 Syötönerotuskytkin

Sähkökäyttöisessä koneessa on oltava päävirtapiirissä käsin käännettävä syötönerotuskytkin, jolla kone saadaan jännitteettömäksi. Sen on erotuttava selkeästi muista koneen käyttökytkimistä ja siinä täytyy olla selkeästi yksi päällä- ja yksi pois-asento. Kytkin täytyy olla lukittavissa pois-asennossa esim. huoltotöiden vuoksi. (17.)

Syötönerotuskytkimeksi valittiin Norwescon valmistama viputurvakytkin, jonka tyyppi on SAM316 3x16A 500V 7,5kW IP65.

6 AUTOMAATIO

6.1 Toiminnan suunnittelu

Kaapin toimintaa lähdettiin suunnittelemaan yrityksen tarpeille sopivaksi. Kaapista täytyi saada turvallinen, helppokäyttöinen ja mahdollisimman automaattinen. Ensin kartoitettiin toiminnot, joita koneen täytyy tehdä automaattisesti. Myös turvallisuus otettiin tarkasti huomioon, jotta koneen käyttö olisi turvallista. Koneiden puhdistaminen puhaltamalla on ainoa asia, joka koneella tehdään mekaanisesti. Puhallus tehdään kaapin etumuovin läpi kiinnitettyjen puhallushanskojen avulla (kuva 31). Hanskat teetettiin mittatilaustyönä Jokasafe Oy:llä. Kaikki muu toiminta tapahtuu automaattisesti ohjausten mukaisesti.

Monista vaihtoehdoista päädyttiin ratkaisuun, jossa kone noudattaa painonapeilla annettuja käskyjä ja toimii sen mukaisesti. Kaappi toimii pääpiirteittäin seuraavasti:

Aluksi painetaan käynnistyspainiketta (F1), jolloin valot syttyvät kaappiin, kompressorin lähtee käyntiin ja kone poistuu valmiustilasta. Kun painetaan oven avauspainiketta (F2), ovi aukeaa, kunnes sylinterianturi tunnistaa oven olevan täysin auki, jonka seurauksena puhallusritilä tulee ulos. Kun kone on asetettu ritilälle, painetaan oven sulkemispainiketta (F4), jolloin ritilä menee sisälle. Kun ritilän sylinterianturi tunnistaa ritilän olevan kaapissa, ovi menee kiinni. Oven sulkeuduttua kaapin imu käynnistyy ja puhallustyö voidaan aloittaa. Kun puhallus on valmis, painetaan oven avauspainiketta (F2), jonka seurauksena ritilä tulee ulos. Lisäksi koneessa on viivytetty ovenavauspainike (F3), joka toimii samalla tavalla kuin oven normaali avaus, mutta tässä toiminnossa imu pysyy päällä 20 sekuntia ennen oven avautumista. Kun halutaan lopettaa puhaltaminen, painetaan sammutuspainiketta (F5), jolloin kone menee valmiustilaan. Kone puhdistaa puhaltimen suodattimen tasaisin väliajoin ja lisäksi hälyttää pölysäiliön täyttymisestä, kompressorin lämpöreleen laukeamisesta tai siitä, että koneen vaaravyöhykkeellä on ylimääräistä liikettä liikkuvien osien liikkeiden aikana.

6.2 Sähkö- ja automaatio suunnittelu

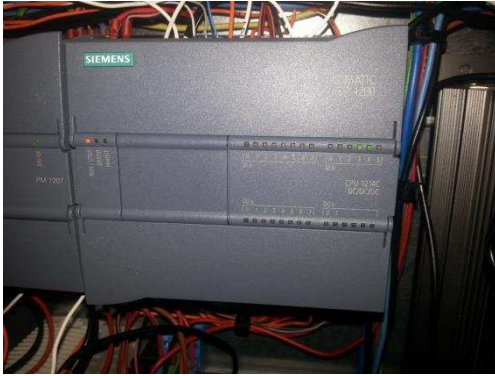
Automaation suunnittelu aloitettiin kartoittamalla tarvittavat toiminnot ja niihin tarvittavat anturit ja toimilaitteet. Niiden perusteella määritettiin tarvittavat I/O-kanavien määrät. Alkuperäisessä suunnitelmassa binäärituloja oli 16, analogituloja 5 ja binäärilähtöjä 12. Työn edetessä tulojen ja lähtöjen määrää supistettiin hieman. Kaikki tarpeelliset I/O:t säilytettiin, mutta lisätoimintoja karsittiin hieman. Etenkin analogituloja karsittiin, jotta selvittiin ilman lisämoduulin tilaamista. Analogituloista valittiin kaksi tärkeintä, jotka olivat alipaineen mittaus ja pölyanturi. Lopulliset tulot ja lähdöt näkyvät liitteessä 1.

Seuraavaksi suunniteltiin kytkentäkuva ja valittiin siihen liittyvät komponentit (liite 2). Valmiin kytkentäkuvan pohjalta aloitettiin asennustyöt. Työn aikana kuvaa muokattiin jonkin verran todellista asennusta vastaavaksi. Kytkentäkuva jää yrityksen käyttöön, eikä sitä julkaista.

6.3 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitava logiikka on mikroprosessorilla varustettu pieni tietokone, jota käytetään koneiden ja tuotantolinjojen ohjaukseen (kuva 13). Yhdellä logiikalla voidaan korvata aiemmin käytetyt useat releet ja ajastimet. Muutokset logiikalla on huomattavasti helpompi toteuttaa kuin perinteisillä releohjauksilla ja niitä käytettäessä vian selvittäminen on huomattavasti helpompaa.

Logiikassa on tulo- ja lähtöportteja, joihin kaikki anturit ja kenttälaitteet ovat kytketty. Logiikka ohjaa toimilaitteita antureiden välittämän tiedon ja tehdyn sovel-lusohjelman mukaisesti. Logiikoita on erityyppisiä ja erikokoisia monenlaisiin tarkoituksiin. Pienet logiikat ovat kompakteja paketteja, joihin on sisällytetty kaikki tarpeelliset toiminnot samaan yksikköön. Isommat logiikat ovat usein modulaarisia eli niissä on erillinen CPU (keskusyksikkö) ja siihen liitettävät tulo- ja lähtömoduulit sekä muut lisämoduulit. (10.)



KUVA 13. Ohjelmoitava logiikka

6.3.1 Logiikan valinta

Kaapin ohjaukseen valittiin Siemensin S7-1200 CPU 1214C Simatic v4.0, johon on integroitu 14 digitaalista tuloa, 2 analogista tuloa ja 10 digitaalista lähtöä. Logiikkaan on integroitu Profinet-liitäntä tiedonsiirtoon ohjelmointilaitteen, HMI:n eli käyttäjäliityntä tai muiden Simatic-ohjainpiirien välillä. Logiikkaan voidaan liittää tarvittaessa lisämoduuleja. Se soveltuu hyvin pienten koneiden ja tuotantolinjojen ohjelmointiin. (18.)

Logiikkavalintaan vaikuttivat riittävä tulojen ja lähtöjen määrä ja se, että minulla oli aikaisempaa kokemusta Siemensin logiikoiden ohjelmoimisesta. Tehonlähteeksi otettiin Siemensin S7 1200 -sarjalle suunniteltu 2,5 A:n virtalähde.

6.3.2 HMI-paneeli

Toimintojen ohjaamiseen ja valvontaan valikoitui monista vaihtoehtoista Siemensin 3 ":n mustavalko HMI-paneeli (kuva 14). HMI on lyhenne sanoista Human Machine Interface ja sillä tarkoitetaan käyttäjäliityntää. Paneelissa on vapaasti konfiguroitavat painikkeet ja kaikki HMI-perustoiminnot: signaalijärjestelmä, vastaanoton hallinta, kaaviotoiminnot ja kielen vaihto. Liitäntä toisiin laitteisiin tapahtuu Profinet-liitännällä. (19.)



KUVA 14. HMI-paneeli

Vaihtoehtoina olivat myös isommat värilliset kosketusnäytöt, mutta valittu koko oli riittävä tämän kokoiseen laitteeseen. Alkuvaiheessa mietittiin vaihtoehtona myös perinteistä painonapeilla ja merkkilampuilla tehtävää ohjauskeskusta, mutta HMI-paneeli säästää tarvittavia tuloja ja kytkentätöitä huomattavasti ja siihen on helposti konfiguroitavissa erilaisia näyttöjä.

6.4 Logiikan ohjelmointi

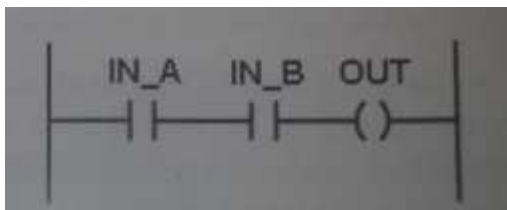
Ohjelmoitavat logiikat käyttävät ohjelmointikieliä, joiden peruselementit koostuvat logiikkaportteista ja muista käskysanoista, joilla käsitellään esim. apumuisteja ja laskureita. Nykyisin ohjelmointiohjelmat mahdollistavat yleensä kolme yleistä ohjelmointiperiaatetta: käskylistäohjelmointi (STL), kosketinkaavio (LAD) ja toimintalohko-ohjelmointi (FBD). Käskylistäohjelmointi sisältää nimensä mukaisesti tekstimuotoisia komentoja (kuva 15). Kosketinkaavio eli ns. tikapuukaavio muistuttaa sähköpiirikaaviota, jonka vuoksi se on yleisesti käytetty ohjelmointimuoto (kuva 16). Toimintalohko-ohjelmoinnissa ohjelma rakennetaan toisiinsa johdetuista toimilohkoista ja se muistuttaa mikropiirillä toteutettua ohjainkortin kaaviota (kuva 17). Ohjelmoija tekee valitsemallaan ohjelmointikielellä ohjelman, jonka jälkeen ohjelma käännetään konekielelle ja lähetetään logiikkaan. (10, s. 223–224.)

```

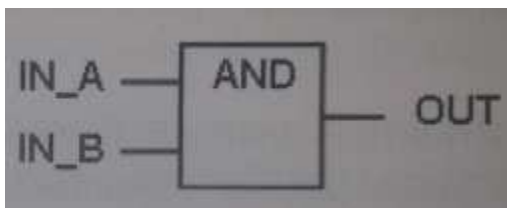
AND Lauseke
IF      IN_A
AND    IN_B
THEN   SET OUT

```

KUVA 15. JA-piiri käskylistaohjelmoinnilla (10, s. 224)



KUVA 16. JA-piiri tikapuukaaviolla (10, s. 224)



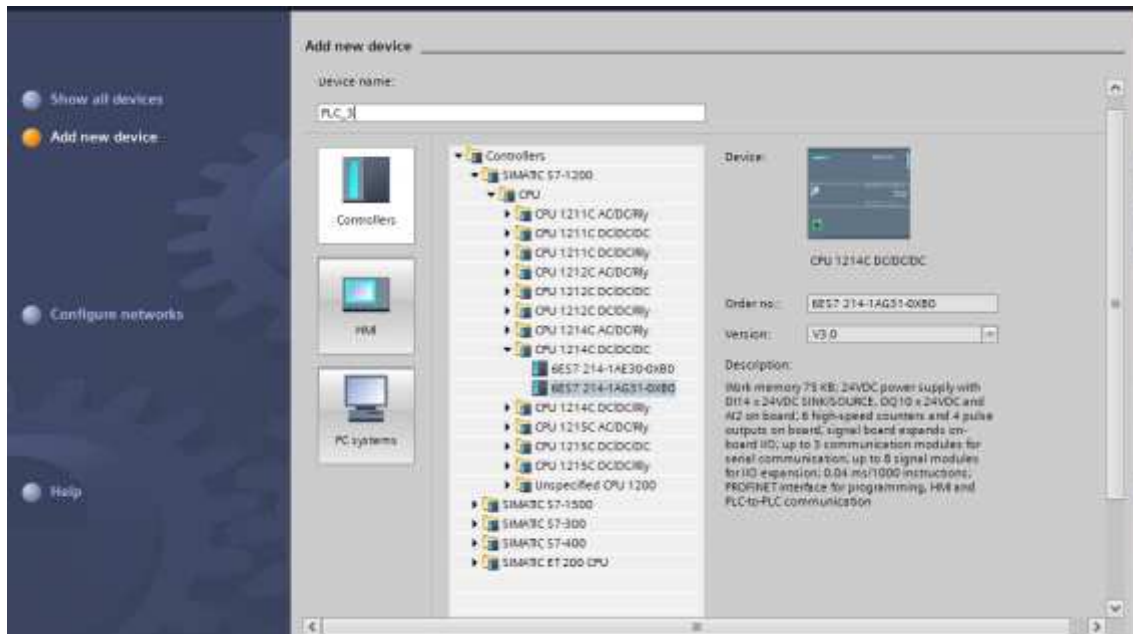
KUVA 17. JA-piiri toimilohkokaaviolla (10, s. 224)

6.4.1 TIA Portal

Logiikan ohjelmointi tehtiin Siemensin TIA Portal -logiikkasovelluksella. Se on ohjelmointityökalu, jossa on yhdistetty logiikkaohjelmointi, käyttöliittymäsuunnittelu ja taajuusmuuttajien ohjelmointi samaan sovellukseen. Sovelluksen käyttöliittymä on tehty erittäin selkeäksi ja sen käyttäminen on tehty helpoksi. TIA Portalista on julkaistu useita versioita. Tämän työn ohjelmointiin käytettiin V12-versiota. Myöhemmin se jouduttiin päivittämään V13-versioon, koska käytettävä CPU eli keskusyksikkö ei ollut enää yhteensopiva vanhemman version kanssa.

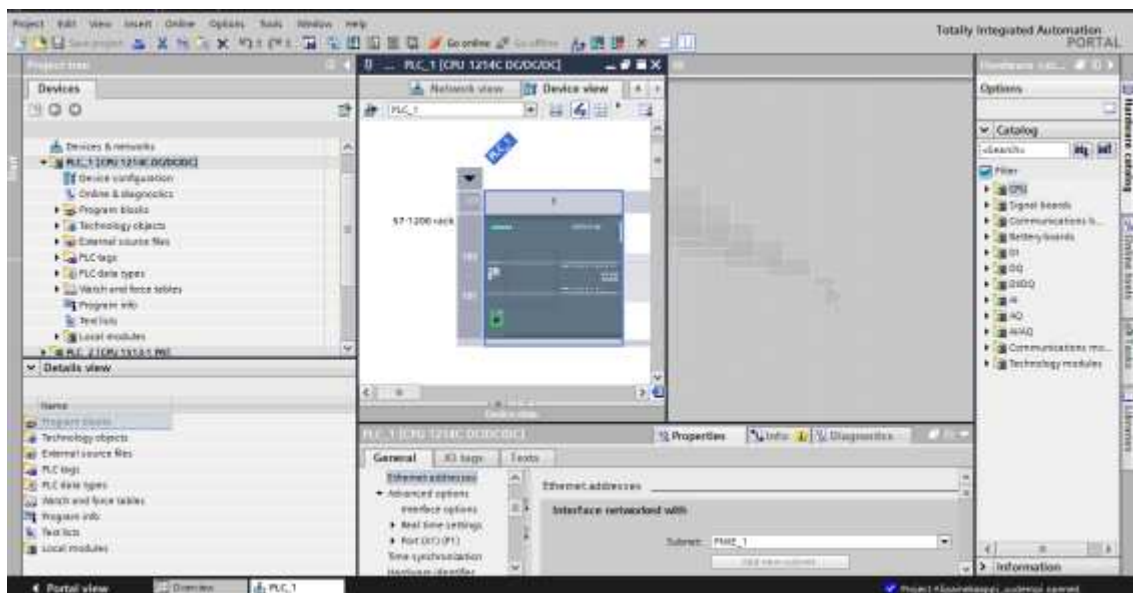
6.4.2 Logiikkaohjelman tekeminen

Logiikan ohjelmointi aloitettiin luomalla uusi projekti ja määrittämällä käytettävä CPU valikosta (Kuva 18). Tarvittavat tiedot löytyivät CPU:n kyljestä.



KUVA 18. CPU:n valintaruutu

CPU:n määrittämisen jälkeen aukeaa sovelluksen päänäyttö, jossa näkyy valittu CPU (kuva 19).



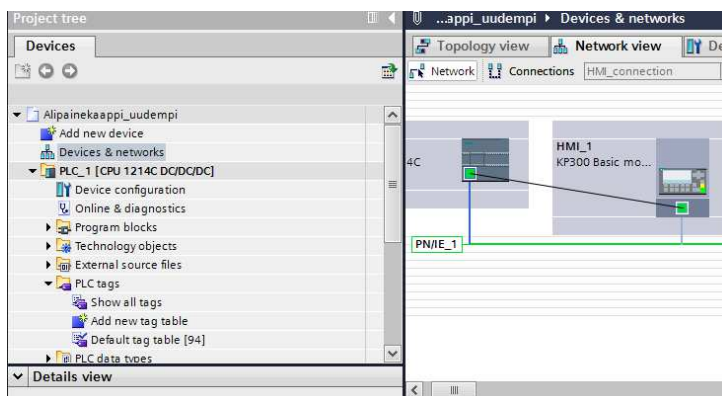
KUVA 19. TIA Portal -ohjelmointinäkömä

Laitteen lisäämisen jälkeen lisättiin ja nimettiin ”PLC tagit” eli I/O:t ja niiden osoitteet (kuva 20).



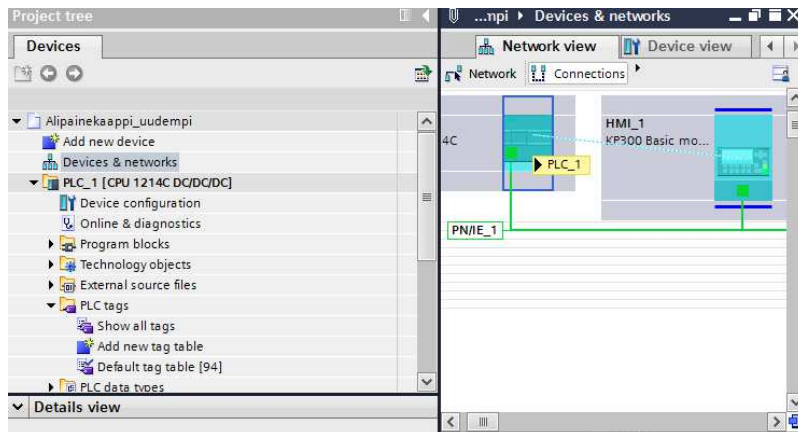
KUVA 20. PLC tagien lisääminen

Nimeämisen jälkeen lisättiin HMI-paneeli painamalla ylävalikosta Insert → Device, jolloin avautui sama valikko kuin alussa. Valikosta valittiin käytettävä paneeli ja lisättiin se ohjelmaan. Kun molemmat laitteet oli lisätty, muodostettiin laitteiden välille yhteys valitsemalla projektin Devices and Networks -valikosta Network view. Aukeavassa ikkunassa muodostettiin yhteys laitteiden välille valitsemalla hiirellä PLC_1:n Profinet-liitin ja vedettiin se hiiren painike pohjassa HMI-paneelin Profinet-liittimeen (kuva 21). Kuvassa yhdistäminen on tehty jo aiemmin, joten johdotus on jo valmiina.



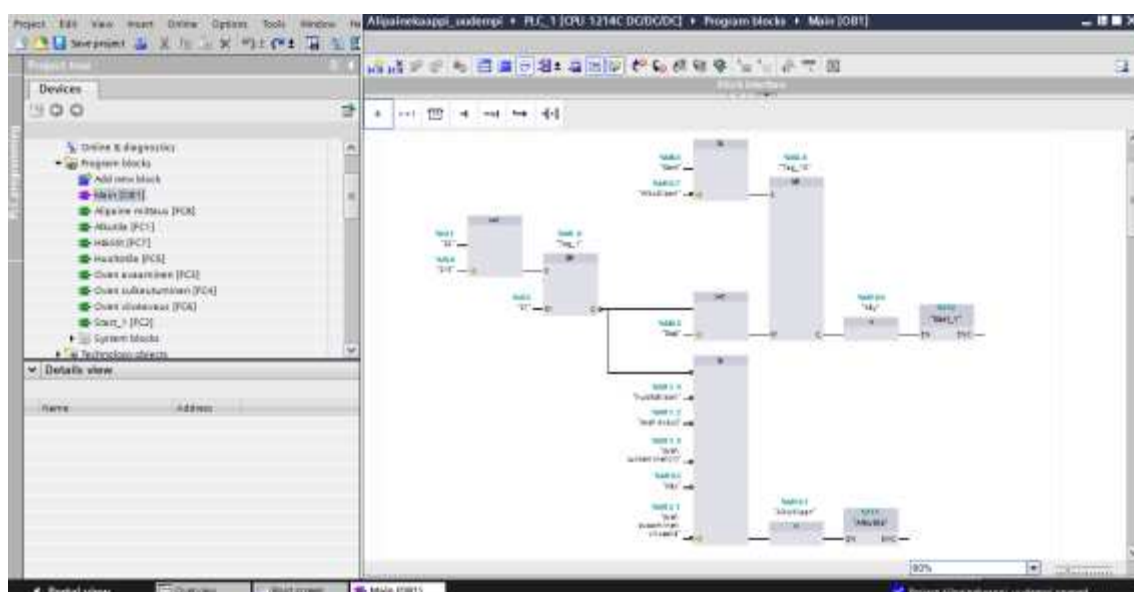
KUVA 21. Yhteyden muodostaminen laitteiden välille

Tämän lisäksi laitteiden välille muodostettiin HMI-yhteys, jotta tagien jakaminen laitteiden välillä olisi mahdollista. Se tehtiin samassa ikkunassa painamalla Connections-painiketta ja valittiin molemmat laitteet niin, että ne muuttuivat sinisiksi. Tämän jälkeen vedettiin laitteen päältä toisen päälle, jolloin yhteys muodostui (kuva 22).



KUVA 22. HMI-yhteyden muodostaminen

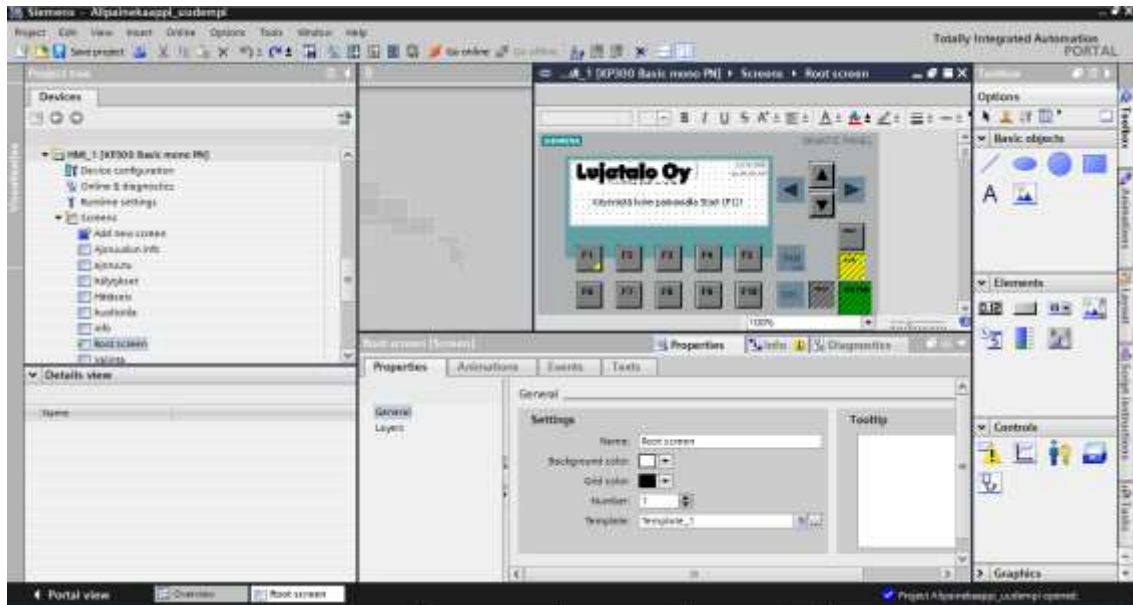
Yhteyden muodostamisen jälkeen tehtiin logiikkaohjelma suunniteltujen toimintojen mukaisesti. Ohjelmointikielenä käytettiin FBD -toimintalohko-ohjelmointia. Ohjelmaan tehtiin pääohjelma Main [OB1], joka ohjaa ohjelmaa HMI-paneelilta annettujen painikekäskyjen mukaisesti (kuva 23). Kahdeksan aliohjelmaa tehtiin FC-ohjelmalohkoihin, joita pääohjelma kutsuu tarpeen mukaisesti.



KUVA 23. Esimerkki pääohjelman alusta

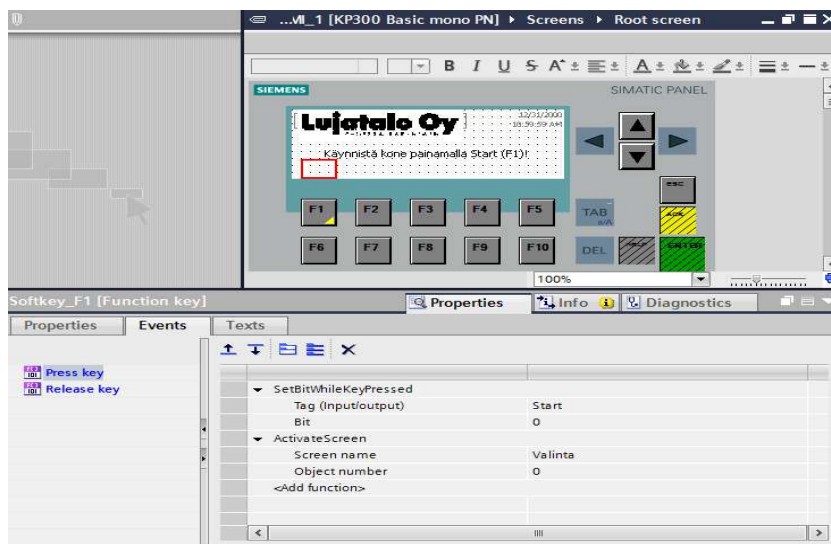
6.4.3 HMI-paneelin konfigurointi

Logiikan ohjelmoinnin jälkeen tehtiin HMI-paneelin ohjelmointi. Se aloitettiin tekemällä alkusivu, joka tulee näkyviin, kun kone on alkutilassa. Ohjelmointisivu saatiin näkyviin, kun valittiin Project tree -valikosta HMI_1 ja sen alta Screens-välilehti (kuva 24).



KUVA 24. HMI-paneelin ohjelmointi-ikkuna

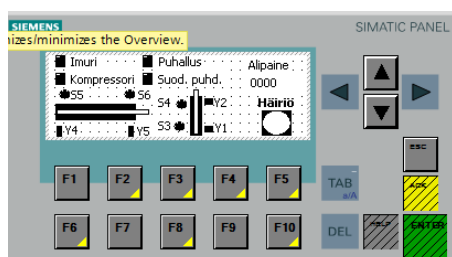
Oikealla näytössä on valikko, josta voi valita toimintoja näytölle. Libraries-välilehdeeltä voi hakea toimintoja lisää. Näytölle lisättiin halutut komponentit raahaamalla ne haluttuun kohtaan ruutua. Kun halutut komponentit oli valittu, määritettiin funktiopainikkeiden parametrit valitsemalla haluttu painike hiiren vasemmalla. Tämän jälkeen painettiin Properties-valikosta ja sen välilehti Events (kuva 25). Siinä voitiin määrittää tapahtuma, kun painiketta painetaan ja kun se vapautetaan.



KUVA 25. Funktiopainikkeen tapahtuman määrittely

Funktio-painikkeiden määrittelyn lisäksi ruudun komponentteihin, kuten merkki-valoihin lisättiin toiminto, joka sitä ohjaa. Tämä tehtiin valitsemalla komponentti ja painamalla Properties-välilehteä, ja valittiin oikea tag. Yleensä ruutu aktivoituu painikkeen painalluksesta, mutta vaihtoehtoisesti ruutu voi latautua myös jonkin tapahtuman johdosta, kuten hälytys.

Paneeliin tehtiin päänäytön lisäksi seitsemän erilaista ruutua, jotka valikoituvat sen mukaan, mitä nappia painetaan. Alkunäyttö latautuu ruutuun, kun kone on alkutilassa, ja se täytyy kuitata salasanalla, jotta päästään eteenpäin. Alkunäytöstä kone voidaan käynnistää painamalla F1, jonka jälkeen avautuu toimintojen valintaruutu. Toimintoruutu on pääohjausruutu, josta pääsee mm. salasanalla suojattuun huoltotilaan. Huoltotilassa koneen toimintoja voi ohjata vapaasti tarpeen mukaan. Eniten käytössä on ajoruutu, johon suurin osa koneen toimintoista sisältyy (kuva 26). Näiden lisäksi paneeliin tehtiin kaksi info-ruutua ja kaksi hälytysruutua.



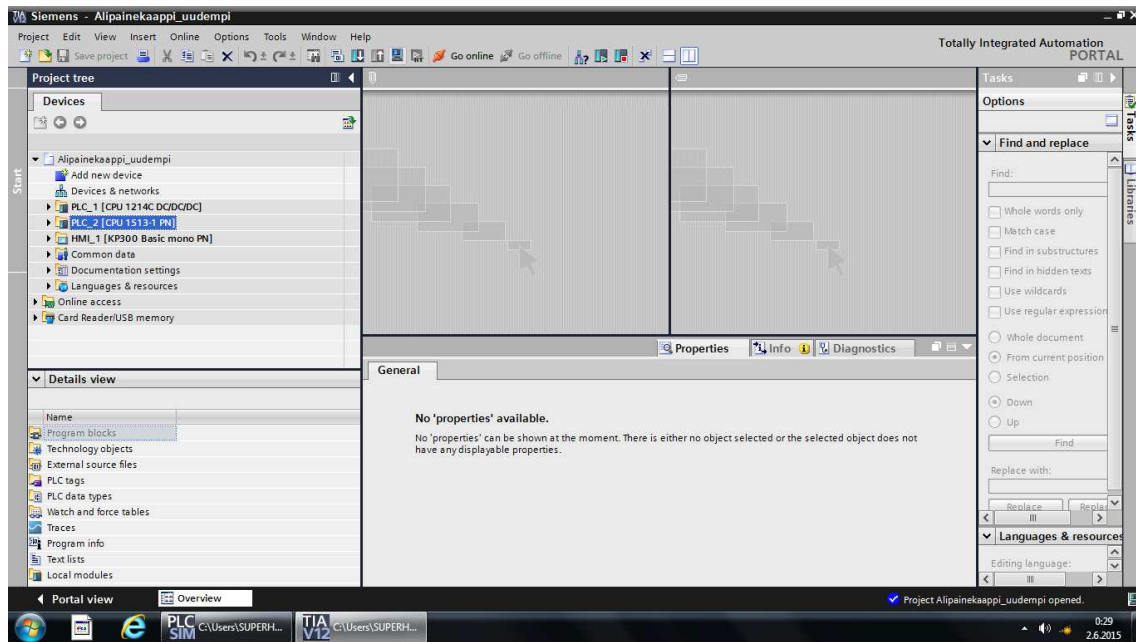
KUVA 26. Ajoruutu

7 KÄYTTÖÖNOTTO

Koneen käyttöönotto suoritettiin simuloimalla ohjelmat virtuaalisesti S7-PLC SIM V12 -sovelluksella ja todellisen prosessin tulot ja lähdöt kokeilemalla. Myös hätäseis-piiri kokeiltiin todellisessa prosessissa. Tällaiseen ratkaisuun päädyttiin, koska käytetty CPU vaati uudemman TIA Portal V13 -sovelluksen toimiakseen ja logiikkaohjelmaa ei saatu siirrettyä siihen. Tuotteen päivityspaketti tilattiin Siemensiltä, mutta se ei ehtinyt saapua määräajassa, joten varsinainen käyttöönotto fyysisillä laitteilla suoritettiin myöhemmin tämän opinnäytetyön ulkopuolella.

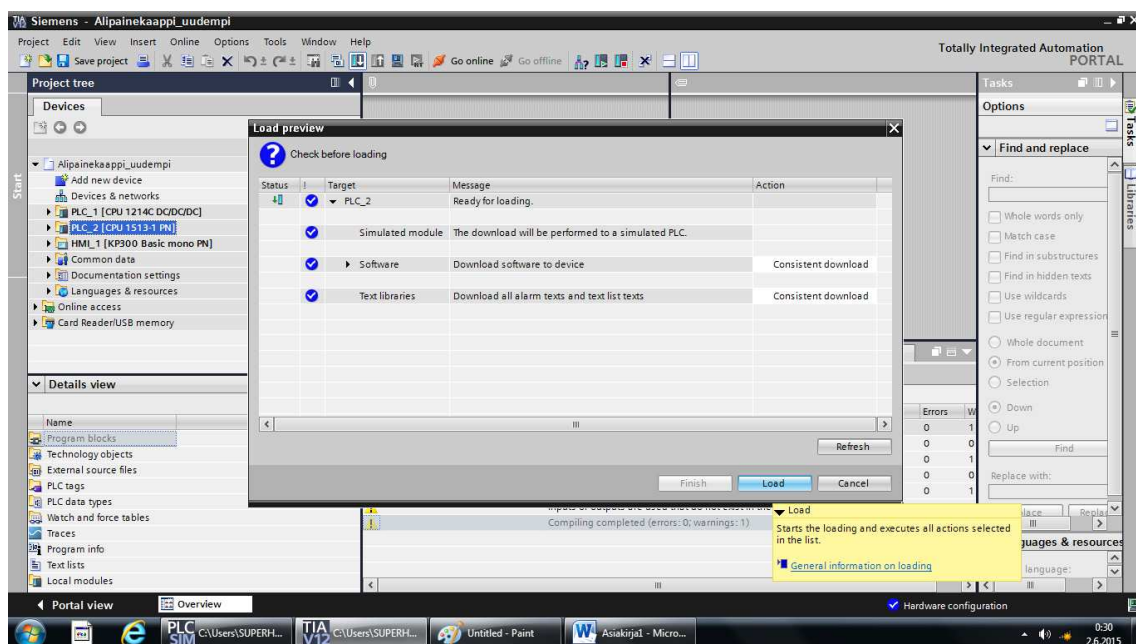
Hätäseis-piiri testattiin laukaisemalla hätäpysäytin ja ovirajakytkin vuorotellen. Molemmat laukaisivat turvareleen. Turvareleen laukeamisen jälkeen se täytyi kuitata kuitauspainikkeesta, joten sekin tuli testattua samalla. Logiikan tulojen toiminta testattiin asettamalla jokainen tulo vuorotellen sellaiseen tilaan, että tulo muuttuu aktiiviseksi. Tulot toimivat moitteettomasti. Lähdöt kokeiltiin irrottamalla ne prosessista ja asettamalla ne aktiiviseksi, ja nekin toimivat. HMI-paneeliin ohjelma saatiin siirrettyä laitteeseen ja sen sivujen toimintaa kokeiltiin laitteella. Sivunvaihdot toimivat oikein painettaessa ohjelmoituja funktiopainikkeita, mutta todellinen testaaminen on mahdollista vasta varsinaisessa käyttöönotossa.

Logiikan ohjelmaa voidaan testata simulointiohjelmalla. Simulointia varten jouduttiin lisäämään uusi S7-1500-sarjan logiikka, koska simulointiohjelma ei tue S7-1200 -sarjan logiikoita. Simuloimaan pääsee, kun valitsee logiikan aktiiviseksi Project tree:sta ja painaa ylävalikosta sinistä Start simulation -kuvaketta (kuva 27).



KUVA 27. Simuloinnin aloitus

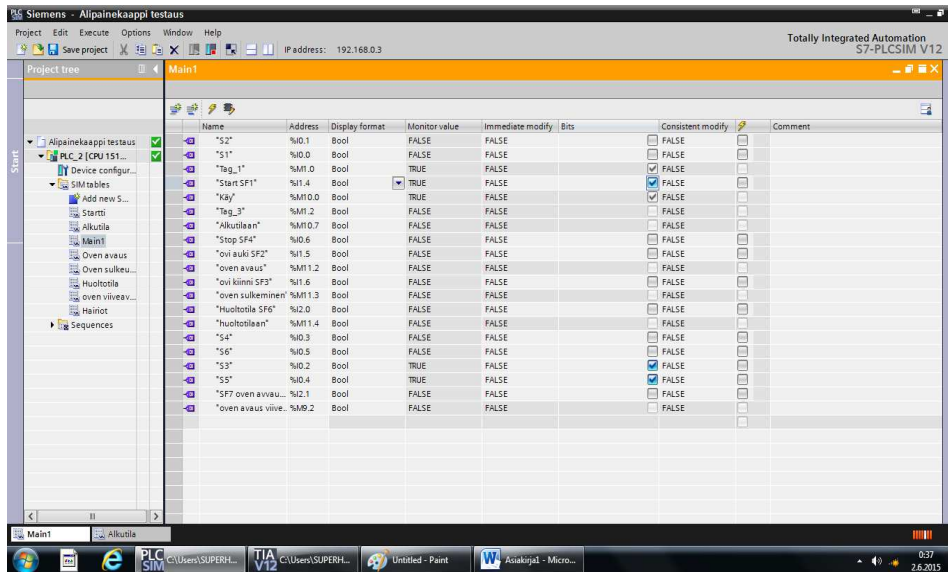
Kun simulointipainiketta oli painettu, ohjelma käännettiin ja tarkastettiin ennen lataamista logiikalle. Ohjelmassa ei ollut virheitä ja se voitiin ladata (kuva 28).



KUVA 28. Ohjelman lataaminen logiikalle

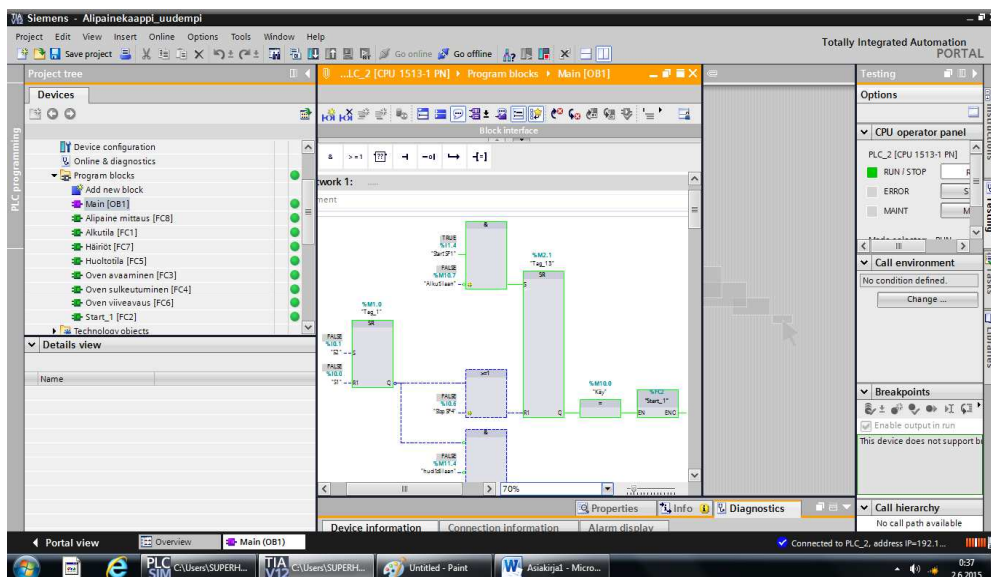
Kun ohjelma saatiin ladattua logiikalle, avautui simulointiohjelma, jossa oli luotava uusi projekti tai avata vanha. Tässä työssä oli jo aiemmin luotu projekti, joten se avattiin jo valmiiksi. Simulointiohjelmaan kirjoitettiin haluttuja osoitteita,

joita haluttiin seurata. Jokaisesta prosessin osa-alueesta tehtiin oma simulointisivu, jolla toimintoja testattiin (kuva 29).



KUVA 29. Simulointiohjelman näkymä

Kun haluttiin seurata logiikkapiiriin toimintaa, painettiin Go online -painiketta, jolloin logiikan ja ohjelman välille syntyi yhteys. Painamalla Block-ruudun ylävalikosta silmälasien kuvaa saatiin ohjelmaan näkymään reaaliaikaisesti vihreällä, kun jokin piiri on aktiivinen (kuva 30). Kaikki ohjelman osiot simuloitiin ja ne toimivat täysin suunnitelmien mukaisesti.



KUVA 30. Simuloinnin Online-tila päällä

Simuloinnin ja kokeilujen perusteella kaikki toimi suunnitelmien mukaisesti ja kaappi saadaan otettua käyttöön, kun ohjelma siirretään päivitetyllä V13-ohjelmalla logiikalle. Kuvassa 31 on lopullista käyttöönottoa vaille valmis puhdistuskaappi.



KUVA 31. Valmis alipainekaappi

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä oli tarkoitus suunnitella ja toteuttaa rakennuskoneiden puhdistamiseen tarkoitettu automatisoitu alipainekaappi. Puhdistustyö on toistaiseksi jouduttu suorittamaan ulkona. Alipainekaapin tarkoitus on vähentää työntekijän altistumista pölylle ja mahdollistaa työn suorittaminen sisällä.

Projekti oli mielenkiintoinen ja sisälsi monenlaisia haasteita. Oman haasteensa toi tuotteiden oikea mitoittaminen ja niiden valinta siten, että huomioidaan kaikki tarvittavat asiat. Valinnoissa onnistuttiin pääosin mielestäni hyvin, mutta todellinen toimivuus selviää myöhemmin, kun konetta on käytetty pidempään. Logiikan ja ohjelmointiohjelman yhteensopimattomuus tuli yllätyksenä, mutta siitäkin onneksi selvittiin, vaikka se viivästytti koneen käyttöönottoa.

Todellisen käyttöliittymän tekeminen oli minulle uutta ja se oli erittäin mielenkiintoista. KytKentäkuvien piirtäminen oli haastavaa ja tuotteisiin piti tutustua perusteellisesti, mutta se oli opettavaista. Työn aikana vastaan tuli paljon uusia asioita, mutta myös perusasioiden kertaaminen tuli tutuksi. Automaatioasennusten tekeminen itse kasvatti mielestäni ammattitaitoani ja selkeytti ymmärrystä moniin asioihin.

LÄHTEET

1. Pöly: määritelmiä ja käsitteitä. Tietoverkko pölytorjunnan avuksi 2004. Saatavissa: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/kpl_1_1.htm. Hakupäivä 21.4.2015
2. Pölyn aiheuttamat haitat. Tietoverkko pölytorjunnan avuksi 2004. Saatavissa: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/kpl_1_4.htm. Hakupäivä 21.4.2015
3. Kohdeilmanvaihto. Tietoverkko pölytorjunnan avuksi 2004. Saatavissa: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/kpl_6_2.htm. Hakupäivä 21.4.2015
4. Kone- ja laiteturvallisuus. Teknologiateollisuus ry 2015. Saatavissa: <http://new.teknologiateollisuus.fi/fi/palvelut/kone--ja-laiteturvallisuus.html>. Hakupäivä 3.3.2015
5. Finlex 2008. Koneturvallisuusdirektiiviä vastaava valtioneuvoston asetus VNa 400/2008. Helsinki. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2008/20080400>. Hakupäivä 3.3.2015.
6. Sivula, Kimmo 2015. Huoltomies, Lujatalo Oy. Keskustelu 27.2.2015.
7. Mäenpää, Maria 2014. Hankesuunnitteluvaiheen tietomallin LVI nimikkeistöjen sekä algoritmimallien laatiminen. Diplomityö. Espoo: Aalto yliopisto. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/14081>. Hakupäivä 6.3.2015.
8. Kohdeilmanvaihdon mitoitus. Tietoverkko pölytorjunnan avuksi 2004. Saatavissa: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/kpl_6_3.htm. Saatavilla. Hakupäivä 31.5.2015
9. Oy Rastor Ab Tietomies 1994. Virtaustekniikka, Oppijakso 3. Pumppaus ja komprimointi.

10. Keinänen, Toimi – Kärkkäinen, Pentti – Lähetkangas, Markku – Sumujärvi, Matti 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
11. Fonselius, Jaakko – Hautanen, Juha – Mutikainen, Tuomo – Pekkola, Kari – Salmijärvi, Olli – Simpura, Antti 1997. Koneautomaatio Pneumatiikka: Oy Edita Ab.
12. ISO Cylinders Manual 2015..SMC Saatavissa:
https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/CP96-C96_eng_TDS.pdf. Hakupäivä 26.3.2015.
13. Paine 2015. Wikipedia. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Paine>. Hakupäivä 8.3.2015
14. Sintrol Oy 2015. S303 pölymittari. Saatavissa:
<http://www.sintrol.fi/tuotteet/sintrol-polymittarit/149-prosessimittaukset/498-s303-788>. Hakupäivä 26.3.2015
15. Safety relay unit G9SB data sheet 2015. Omron. Saatavissa:
https://www.elfaelektronikka.fi/elfa3~fi_fi/elfa/init.do?item=37-548-45&toc=0&q=Turvamoduuli%2C+G9SB-3012-A. Hakupäivä 24.3.2015.
16. Vänntilä, Arto 2015. Kalustovastaava, Lujatalo Oy. Keskustelu 23.3.2015.
17. Finlex 2008. Valtioneuvosto asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta. Kansallinen käyttöasetus VNa 403/2008. Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080403>. Hakupäivä 3.3.2015.
18. Simatic S7-1200 Easy Book 2014. Siemens. Saatavissa:
https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/s71200_eng_manual.pdf. Hakupäivä 25.3.2015.
19. Simatic HMI KP300 Basic Mono PN Product data sheet 2015. Siemens. Saatavissa:
https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/6AV66470AH113AX0_eng_tds.pdf. Hakupäivä 25.3.2015.

Tunnus	Toiminto	Tyyppi	osoite
S1	hätäseis/virrankatkeaminen	BI	I0.0
S2	hätäseis kuittaus	BI	I0.1
S3	luukku kiinni tieto	BI	I0.2
S4	luukku auki tieto	BI	I0.3
S5	ritilä sisässä	BI	I0.4
S6	ritilä ulkona	BI	I0.5
S15	ovirajakatkaisin	BI	I0.6
S8	pölysäiliön yläreuna	BI	I0.7
S9	kompuran lämpörele tieto	BI	I1.0
S10	kompuran lämpörele jännite päällä 230V	BI	I1.1
	varalla		I1.2
S11:2	valoverho dark on	BI	I1.3
	varalla		I1.4
S13	imurin moottorinsuojakytkin tieto		I1.5
	varalla		
Pm	alipaine mittaus	AI	AI1
	(pölyanturi)	AI	AI2
H1	työvalot	BO	Q0.0
Y1	ovi auki	BO	Q0.1
Y2	ovi kiinni	BO	Q0.2
M1	kompura päälle	BO	Q0.3
Y3	puhallus päälle	BO	Q0.4
H2	vilkku valo	BO	Q0.5
M2	imuri päälle	BO	Q0.6
Y6	suodattimen puhdistus	BO	Q0.7
Y4	ritilä ulos	BO	Q1.0
Y5	ritilä sisään	BO	Q1.1

Nro.	Laite	Tyyppi	Valmistaja	Käyttötarkoitus	Määrä (kpl)
1	S7-1200 virtalähde	6EP1 332-1SH71	Siemens	Virtalähde logiikalle	1
2	S7-1200 CPU 1214C	6ES7214-1AG40-0XB0	Siemens	Logiikka	1
3	ISO-sylinteri 800 mm ø32 mm	CP96SDB32-800	SMC	Ritiläsylinteri	1
4	Magneettinen sylinterianturi	MZT8-28VPS-KU0	Sick	Sylinterin asennon tunnistaminen	4
5	2/2-tiemagneettiventtiili G1/4	VX212EGAXB	SMC	Puhalluksen hallinta Suodattimen puhdistuksen hallinta	2
6	Alipaineanturi	PSE533-M5-L	SMC	Alipaineen seuranta	1
7	Retroheijastava 4 m	LRS-5050-103	Contrinex	Valoverho	1
8	Turvamoduuli	G9SB-3012-A	Omron	Turvarele	1
9	Mikrokytkin	CE70.0.EM/2	Camdenboss	Oven rajakytkin	1
10	ISO-sylinteri 600 mm ø32 mm	CP96SDB32-600	SMC	Oviritilä	1
11	Miro rele	52000	Murr Elektronik		2
12	Nivelpää DIN 648	KJ10D	SMC		1
13	HMI-paneeli 3 " FSTN, mustavalko	6AV6647-0AH11-3AX0	Siemens	Ohjauspaneeli	1
14	MB20/8M2	1,1kW.230V.LG270	Casals	Puhallin	1
15	LED-valokytkin, täydellinen	L21AH40L	Baco	Hätäseis kuittauspainike	1
16	Turvakytkin vipu SAM	SAM316 3x16A 500V 7,5kW IP65	Norwesco	Pääkatkaisin	1
17	5/3 suuntaventtiili	SY3340-5LOU-Q	SMC	Sylintereiden ohjaaminen	2
18	Kapasitiivinen anturi	EC3025PPAPL	Carlo Cavazzi	Pölysäiliön pintahälytys	1
19	Mec Air kompressor	EC.BIG PIONEER 272M 23050EU	Fini	Paineilman tuottaminen	1
20	Rele	PLC-BSC-24DC/21	Phoenix Contact		
21	Jännitelähde	SPD24601, 24VDC 2.5A.	Carlo Cavazzi	Ohjausjännite	1
22	LED valonauha 14,4w/m IP65	1131004	FT Light	Ledinauha	1
23	Vakiojännitelähde 12 VDC 100 W - FTLight	1174100	FT Light	LED liitäntälaite	1
24	Hätä-/seis painike	XALK178	Schneider Electric		1
25	KytKentäreleet sarja 38	38.51.0.240.0060	Finder		2
26	Kontaktori	LC1D12BL	Schneider Electric		1
27	Led-majakka 12-80 V	LH40-9528FPA			1